水質計器（りん酸計）の適用可能性に関する調査

川崎市上下水道局　○栗原知之・小倉勝己・端谷研治

1. はじめに

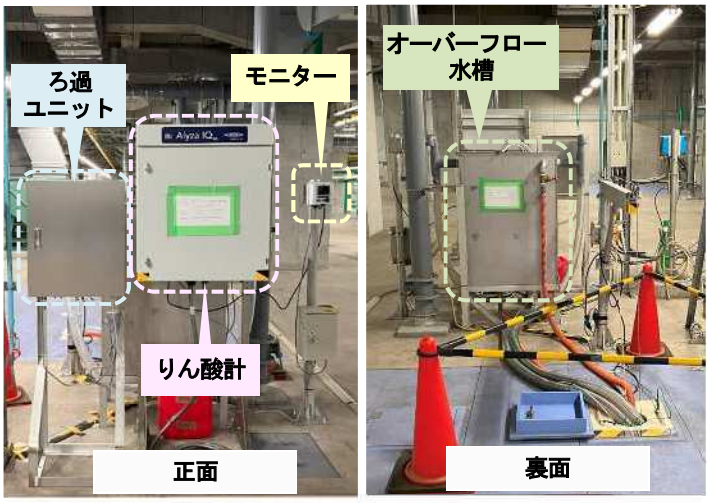
持続可能な下水道事業を推進していく手法の１つに DX の導入がある。下水道事業に係る DX に必要不可欠なデジタル技術[1)]は多くあるが、今回は水処理に必要な水質センサーに着目し、本市下水処理場における水質センサーの適用可能性について検討を行った。調査を実施する入江崎水処理センターは合流式の下水処理施設であり、処理方式として西系は担体利用・嫌気ー無酸素ー好気法、東系は（疑似）循環式硝化脱窒法を採用し、処理能力は 318,600 ㎥/日（西系：129,000 ㎥/日、東系：189,600 ㎥/日）である。隣接する汚泥処理場からの返流水を受け入れていることもあり、りんの処理に苦慮しており、特に雨天時においてりん処理が不安定になることが見受けられる。また、工場排水の割合が比較的高いほか、異常流入水により、放流水中のりん濃度が上昇した事例もあり、良好で安定的な放流水質の確保が求められている状況である。こうした背景から、今回はりん酸計を西系に設置し、その適用可能性調査を実施したので結果を報告する。

2. 適用可能性調査の概要

今回使用したりん酸計の仕様を表ー1 に示す。測定原理はモリブデンイエロー法であり、調査期間中の測定周期は 10 分とした。りん酸計の構成（写真ー１）としては、オーバーフロー水槽、ろ過ユニット、りん酸計本体、モニターから成っている。オーバーフロー水槽は反応タンク等からの測定対象水が流入する受水槽と、受水槽からオーバーフローした水を貯めておく貯水槽に分かれており、貯水槽からは常時排水され、オーバーフロー水槽内の滞留時間は 2～3 分となっている。貯水槽内にはろ過フィルターが設置されており、ろ過フィルターによりろ過された試料水はろ過ユニット内のポンプにより吸引され、りん酸計へ送られる。りん酸計内ではモリブデンイエロー法による測定が行われ、その結果はモニターに反映される。

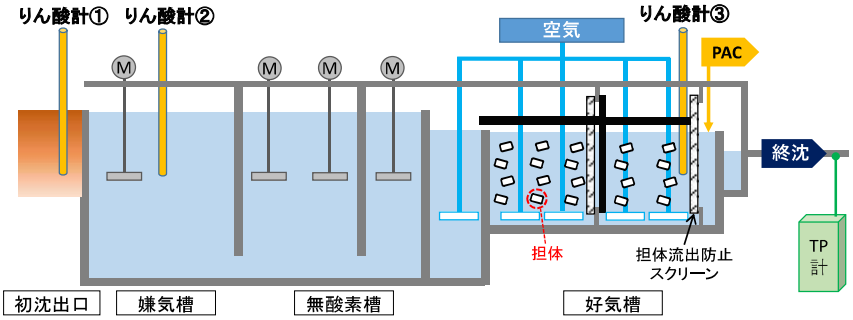
表ー１　りん酸計の主な仕様

型式	Alyza IQ PO4	測定範囲	0.02～15.00 mg/L PO_4-P
仕様	低濃度型	最小表示値	0.01 mg/L PO_4-P
測定方法	モリブデンイエロー法	精度	RS±2%
測定周期	最短5分（本調査では10分）		±0.02mg/L PO_4-P



写真ー１　りん酸計の構成

本調査では、図ー１のようにりん酸計を３箇所に設置し、りん酸濃度の連続測定を実施した。調査期間は令和７年１月末（嫌気槽は５月）から令和８年１月末とした。本調査の目的は、晴天日・雨天日等で適正なデータが連続的に得られるか調査し、PAC 注入等に係る効率的な自動運転への当該データの適用性を評価すること、さらに、メ



図ー１　りん酸計の設置場所（西系第５池）

ンテナンスに係る頻度、労力、費用等を調査し、費用・効果等の観点から、持続可能な水処理運転への活用について評価することである。なお、りん酸計の設置場所ごとの調査目的は表－２のとおりである。

表－２　りん酸計の設置目的

りん酸計	設置場所	調査目的の概要
①	最初沈殿池出口	平常時のりん酸濃度把握
		異常流入水（高りん濃度物質）判別
②	嫌気槽	平常時及び雨天時のりん酸挙動（吐出し）の把握
③	好気槽（末端より手前）	平常時及び雨天時のりん酸挙動（取込み）の把握

3. 適用可能性調査の結果

(1) りん酸計のメンテナンス

今回の調査におけるりん酸計の設置場所は、最初沈殿池出口・嫌気槽・好気槽末端へ設置した。設置場所が前段になるほど夾雑物や溶解性有機物等の影響が大きく、当初予期しなかった不具合が多発した。調査期間中の主な不具合を表－３に示す。こうした不具合への対応として、設備の構造変更や洗浄方法の改良を重ねた結果、不具合発生頻度が減少した。また、調査期間中の装置の清掃頻度、汚れ具合、エラー状況等から判断した結果、装置を適正に稼働させるためには、少なくとも表－４の日常メンテナンス頻度が必要と考えられる。今後、りん酸計を導入した場合、年間のメンテナンス費用（日常メンテナンスは直営で実施する場合）は、１台あたりの消耗品費（薬品、チューブ、フィルター等）が約 50～100 万円（設置状況による）、委託による保守費（分析機器校正、機器動作確認等）が 60～120 万円程度となる見込みである（同機種保有の他都市、メーカーヒアリングより）ほか、上記の日常メンテナンスの労力が必要となる。

表－３　調査期間中の主な不具合

維持管理上の不具合		要因	不具合発生頻度※ 初沈出口	嫌気槽	好気槽	改善策
装置課題（エラー停止）	内部基盤の腐食	周辺空気の湿度が高く、硫化水素等の還元性雰囲気である	△	△	○	硫化水素吸着剤等の設置
	装置内チューブの汚れ（閉塞、サンプル抽出失敗等）	ろ過フィルター汚れの膜厚増大に伴いろ過水に汚れ混入	×	×	○	高頻度洗浄 UV洗浄機設置
		溶存態の有機物等がチューブ内で懸濁化する	×	×	○	
	装置の過熱	周辺空気の湿度・温度が高く、空冷不可となる	△	△	△	夏場の保冷剤設置
作業性課題	フィルター洗浄作業が重労働	オーバーフロー水槽やフィルターホルダーの構造上の問題	×	△	○	検討中
	消耗品の交換頻度が多い	測定装置内チューブ閉塞等のエラー発生により消耗品の交換頻度が増加	×	×	△	初沈出口等では汚れが多いため、多頻度交換とする

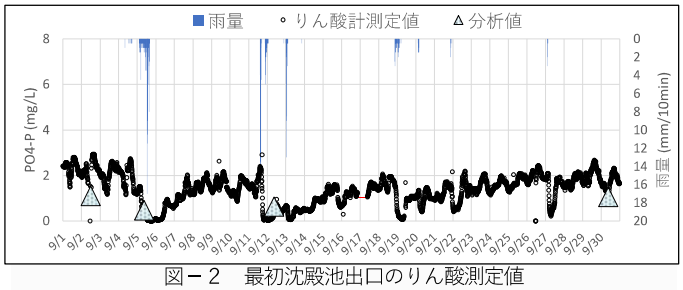
※○：ほとんど発生しない　△：たまに発生する　×：発生頻度が高い

表－４　日常メンテナンス推奨例

設置場所	最初沈殿池出口	嫌気槽	好気槽末端
メンテナンス頻度	週２回	週１回	月２回（隔週）
条件	➢ メンテナンス１回は、１人で２時間実施を想定 ➢ ２時間で３台分のメンテナンスを行う想定 ➢ ２時間の内訳は、ろ過フィルター洗浄（1時間）、小型水槽洗浄（0.5時間）、チューブ洗浄（0.5時間） ➢ その他、必要に応じて消耗品交換も実施		

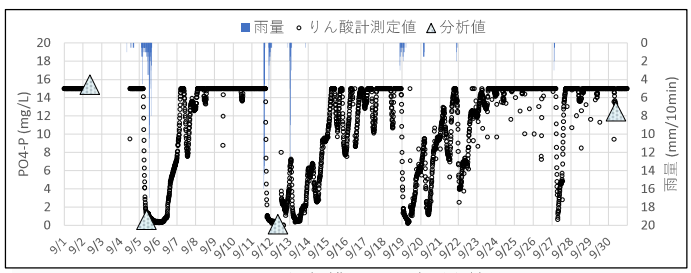
(2) りん酸計の測定結果

図－２に、最初沈殿池出口に設置したりん酸計の測定結果を示す（一例として令和７年９月分の測定結果を掲載。以下同じ）。測定値は分析値（下水試験方法による。以下同じ。）とほぼ一致しており、降雨により希釈された挙動が把握できるなど良好な結果が得られた。なお、異常流入については、りん酸そのものの流入負荷が高い場合と、りん酸負荷は低いものの微生物のりん処理を阻害する物質が流入する場合が考えられるが、今回の測定期間中は前者のような異常流入は見られなかった（後者の場合にはりん酸計では検知できないが、りん処理の悪化は見られなかったため異常流入は無かったと推察）。



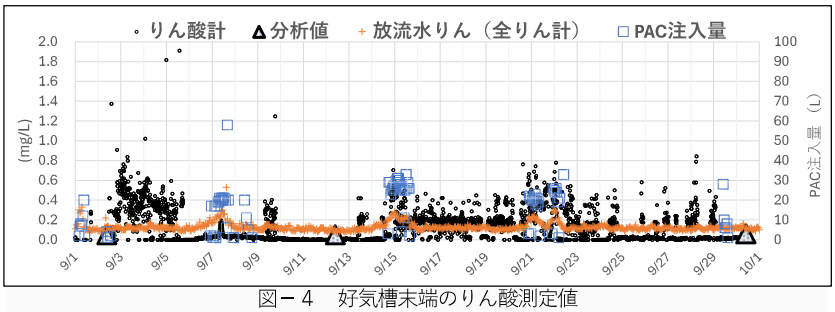
図－２　最初沈殿池出口のりん酸測定値

図－３に、嫌気槽に設置したりん酸計の測定結果を示す。測定値は分析値とほぼ一致しており、降雨による DO 持ち込みに起因する、りん蓄積細菌からのりん放出が抑制されている挙動が把握できるなど良好な結果が得られた。なお、りん酸計の測定レンジを低領域に設定している都合上、測定上限が 15mg/L となっているが、分析値を見ると 15mg/L 付近がりん吐出しの最大値と推察出来るため、りん処理に係るりん酸の挙動の把握にはこの測定レンジで問題ないと考えれらる。



図－３　嫌気槽のりん酸測定値

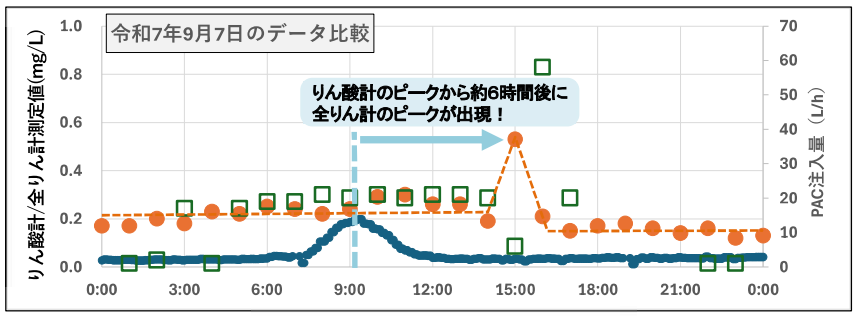
図-４に、好気槽末端に設置したりん酸計の測定結果を示す。この時期はりん酸計本体内部のガラスキャピラリーに不具合があり測定値が安定しない日（9/3～5、17～20）もあったが、測定値が安定している期間は分析値とほぼ一致しており、精度が高い測定結果であることが確認できたほか、終沈出口水を測定している全りん計の値と比較すると、同時期に上昇しているなど一定の相関が確認できる結果が得られた。



図－４　好気槽末端のりん酸測定値

(3) 自動制御への適用可能性

今回の調査期間中はりん処理が良好であり、結果として不安定なりんの挙動はほとんど測定できなかった。その中で、比較的りんの変動が大きかった日のりん酸計（好気槽末端）及び全りん計（終沈出口水）の測定結果を図－５に示す。これを見ると、りん酸計の測定値に対して全りん計の測定は約 0.2mg/L ほど高い値となっている。全りん計は SS 分を含むりん全量を測定しているほか、りん酸計は第５池のみの測定結果であるのに対して全りん計は全池の混合水を測定していることがこの差の要因と考えられる。



図－５　りん酸計測定値と全りん計測定

現状の PAC 注入制御は、全りん計の測定値が 0.2～0.5mg/L のときに注入率 1ppm、0.5～1.0mg/L のときに注入率 3ppm となるよう PAC を反応タンク末端に注入している。上図では、りん酸計測定値のピークが９時頃であるのに対し、全りん計測定値のピークは 15 時頃となり、その差約６時間は、終沈の滞留時間とほぼ一致していることから、両者のピークは同一のりん負荷を測定していると考えられる。

以上より、りん酸計測定値と全りん計測定値には、現状では測定値に約 0.2mg/L 程度の一定の差があること、りん酸計測定値と全りん計測定値の挙動は約６時間の時間差で一致していること、の２つの関係性があることが確認できた。この関係性を考慮することで、りん酸計（好気槽末端）は全りん計と同様に、PAC 注入制御に係る自動運転に十分適用可能であると言える。

また現状の PAC 注入制御では、全りん計測定値が上昇した場合、構造上、その処理水は処置されずに放流されることから、突発的なりん濃度上昇に対しては、排水基準遵守の観点から常にリスクを抱えている状態である。このようなリスクへの対応には、りん酸計を用いた PAC 注入自動制御の導入が適切であり、反応タンク末端のりん酸を 10 分間隔でリアルタイムで監視できることから、急激なりん上昇に対しても早急に PAC 注入を実施できるため、リスク低減が可能となる。また、全りん計では、測定値に対して、りんの上昇リスクを見込んだ PAC 注入率で１時間連続注入する制御となるが、りん酸計を用いることで、10 分毎にりん酸濃度に応じた必要量が注入可能となるため、PAC 使用量の削減も可能となると考えられる。

（参考文献）

１）上下水道 DX 技術カタログ　令和７年 10 月　国土交通省水管理・国土保全局　上下水道審議官グループ